

Appendix 1

模型ロケット打ち上げプロジェクト「Hamana-3」における安全対策

「確実に安全に」を実現するためのプロジェクト推進

大西秀一

開発プロジェクトを推進するにあたり，安全に配慮するのは当たり前のことである．しかし，確実に安全に実施するには，決められたルールを守るだけでなく，さまざまな事態を想定して対策を施す必要がある．ここでは，新入社員研修の一環として模型ロケットの打ち上げを実施した企業が，どのような対策を実施したのかについて解説する．（編集部）

「Hamana-3」プロジェクト(1)は，小型の模型ロケットに観測機器を搭載し，飛行経路などのデータを取得・解析することを目的とした開発プロジェクトです．筆者の所属する会社は，新入社員研修の一環としてこのプロジェクトに参加しました．模型ロケットとはいえ，推進力を得るために火薬（エンジン）を使用するため，事故を起こす危険性があります．そのため，会社として安全順守を徹底しました．ここでは，筆者らが同プロジェクトを進めるにあたり，どのような安全対策を実施したかを解説します．

● 模型ロケットの構造と安全性

模型ロケットの構造を図1に示します．模型ロケットの構造は火薬の燃焼による推力で空中に射出されるという点においては，通常私たちが知っているロケットとほぼ同じです．また，模型ロケットは空中でパラシュートを開いて地上に降りてくる速度を緩やかにすることにより，地上で回収して再利用できるように設計されています．

エンジンは模型ロケットの飛行制御をすべて実施する重要な構成要素です（図2）．エンジンは噴射ノズル，推進剤，遅延燃焼剤，逆噴射剤で構成されています．

エンジンの製造方法は，米国ロケット協会（National Association of Rocketry：NAR）(2)によって定められています，エンジン製造元はサンプリング燃焼の数値を公開することにより品質を保証しています．また，NAR自身が安全性の検査を実施しています．実際に，規定の方法による打ち上げでは，過去40年にわたり重大な人身事故は起きていません．さらにNARは，模

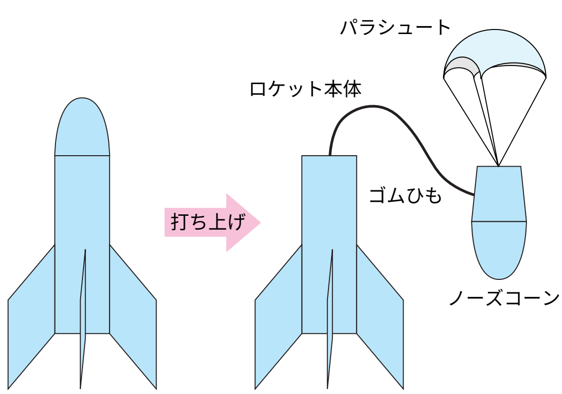


図1　模型ロケットの構造（外観）
模型ロケットは本体とノーズコーン（ロケットの先端部分），パラシュート，エンジンからなる．ノーズコーンにパラシュートを装着して，本体に装てんする．打ち上げた後，空中で本体とノーズコーンが分離し，パラシュートが開く仕組みとなっている．本体の材質としては，紙，木，バルサ，プラスチックなどの軽量の材料のみ使用が許されている．

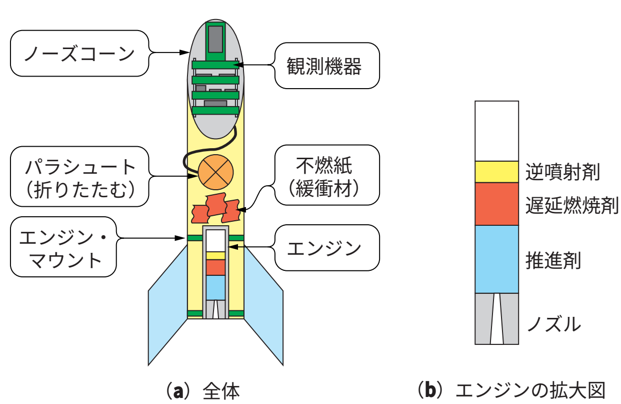


図2　模型ロケットの内部構造（断面図）
推進剤は，エンジン・ノズルから推力を発生させるための主燃料である．遅延燃焼剤は，推進剤が燃焼し終わった後，慣性飛行を行うためのディレイ（遅延）を実現する火薬である．逆噴射剤は，ロケット本体内に噴射してノーズコーンを射出し，パラシュートを開く役割を果たす．

KeyWord　Hamana-3，Hamana-2，安全，模型ロケット，安全コード，SWEST，研修

型ロケットの打ち上げ安全基準「模型ロケット安全コード(Model Rocket Safety Code)」(3)を定めています．このように，規格に従ったエンジンの使用と，安全基準の順守により，模型ロケットの安全性を高めています．

なお，火薬を使用するということで，なんらかの法律によって規制されているように思われるかもしれませんが，模型ロケットで通常使用するエンジン(型式A8-3，C6-5)の火薬量は20g以下であるため(**表1**)，おもちゃ(花火と同様の)扱いとなり，火薬類取締法には抵触しません[注1]．

筆者らが開発したHamana-3用のロケット(**写真1**)と搭載した観測機器(**写真2**)，観測機器の構成(**図3**)を示します．観測機器に加速度センサとジャイロ・センサを搭載し，空中における模型ロケットの運動を解析しようと試みました[注2]．飛行中に必要なデータをフラッシュ・メモリに書き込み，地上で回収した後にデータをパソコンに取り込んで，パソコン上で飛行経路を表示することができました．なお，Hamana-3の前年に実施した「Hamana-2」プロジェクトに関しては，本誌2006年6月号(4)(5)で解説していますので，興味のある方は参照してください．

注1：日本国内でD型エンジン以上の模型ロケットを打ち上げる場合は，火薬類取締法に準拠した日本モデルロケット協会の自主消費基準を順守する必要がある．
注2：慣性航法(速度と位置を随時割り出していく航法)の構造と似ているが，予算の都合によりジャイロ・センサが1軸しか取れなかったため，擬似的な解析に終わった．

表1　代表的なエンジンのスペック
エンジンは火薬量によってA～J型に分類される．C型エンジンまでは，火薬量が20g以下である．

エンジン型式	総出力[Ns]	遅延時間[s]	最大打ち上げ重量[g]	最大出力[N]	火薬量[g]
A8-3	2.5	3	85	11.8	5.6
C6-5	10	5	113	15.3	14.9

● 取り組んだ安全対策

プロジェクトに参加する上で会社から要求されたのは，打ち上げを「確実に安全に実施する」ことです．会社の事業の一つとして実施する以上，万が一事故が起きてしまったら会社としての責任を問われることになります．会社自体の評価にも少なからず影響するため，会社からの要求は納得できるものでした．

「安全に」実施するには，安全のためのルール(模型ロケット安全コードなど)を順守すればよいのですが，「確実に安全に」



写真1　筆者らが開発したHamana-3用のロケット(発射の瞬間)
模型ロケットの機体は全長が320mm，重量が40g．米国Estes Industries and COX社の模型ロケット「BABY BEATHA」をもとに作成した．なお，機体そのものは，Hamana-2で使ったものを継続して使用した．

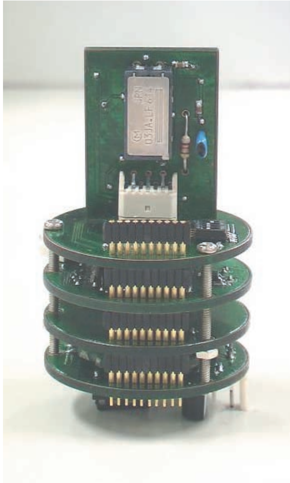


写真2　搭載した観測機器
観測機器は高さが63mm，直径が36mm，重量が37g．

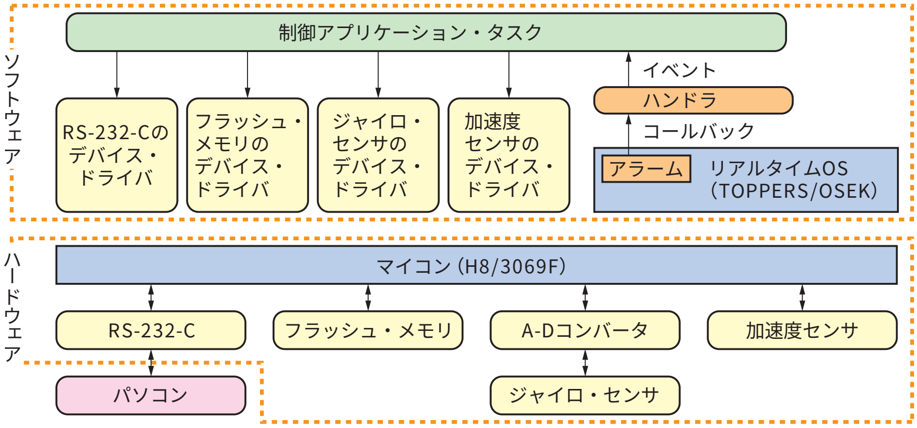


図3
観測機器の構成
H8マイコンに，OSEK/VDX仕様に準拠したリアルタイムOS「TOPPERS/OSEK」を搭載した．ジャイロ・センサと加速度センサからデータを得て，フラッシュ・メモリに書き込む．書き込んだデータは，観測機器を地上で回収した後，RS-232-C経由でパソコンに取り込む．

という要求を実現するためには，模型ロケットを打ち上げる前に，さまざまな対策を実施しておく必要があります．筆者らは新入社員研修として取り組んでいますが，経験不足の新入社員にすべてを任せるのは無理だと判断しました．そこで，筆者らはプロジェクトを進める上で，以下のことを徹底することにしました．

- 模型ロケット安全コードを順守する
- 過去の資料を必ず参考にする
- 地上でのテストを確実に実施する
- 試射していないものを本番で使わない

以下に詳しく説明します．

1）模型ロケット安全コードを順守する

プロジェクト実施において，少なくともこれだけは守ろう（必要最低限），というルールが必要です．筆者らは，数十年にわたって安全な打ち上げを裏付けてきた，模型ロケット安全コードを順守することにしました．

「必要最低限のルールを順守する」というと，当たり前のことと思われるかもしれません．しかし，打ち上げに慣れてしまうとルール順守を忘れがちになり，運用があいまいになることがあります．これを避けるため，打ち上げ前に計画書を作成する段階で，必ず打ち上げ手順について確認しました．また，打ち上げ時の様子をビデオ・カメラで記録して，安全コードが守られているかどうかを確認するようにしました．

なお，模型ロケット安全コードには打ち上げ場所についても規定があります．Hamana-3で使用したエンジンでは，上空に障害物がない半径30m以上の平地が必要でした．このように広く空が開けている場所というのは，なかなか見つかりませんでした．最終的には国土交通省に使用許可を得た上で，河川の砂州を利用しました．

ルールに従った打ち上げを実施するためには，さまざまな準備が必要です．「安全に打ち上げるためのルールが規定されていれば，守らなければいけない」というルール順守の意思が，プロジェクトを安全に実施するための鍵だと思います．

2）過去の資料を必ず参考にする

ロケットは，流体力学，重力運動などさまざまな視点から研究されてきています（物理学の結晶であると言ってもよいかもしれない）．模型ロケットも模型とは言え，きちんと設計されたものでなければ，十分な成果を得ることはできません．そこで筆者は，新入社員に対して，過去に作ったロケットを参考にしなさい，参考書をよく読みなさいと指示を出しました．以前（Hamana-2のとき），特に指示を出さずに模型ロケットを作成させたら，全く飛びそうにないロケットを作成してきたことがありました．それからは，必ず過去の資料に当たってから設計させるようにしました．

過去の失敗事例からは非常に多くのことが学べます．例えば模型ロケットの重心がロケット本体の中心に位置していなかったために，真上に打ち上がらず，いびつな軌跡を描いて打ち上がった経験があります．そこから，模型ロケットは重心の設計が非常に重要であるということを学びました．そのほかの例として，指導者が事前に重量超えやアンバランス，ロケットの密閉が不十分などの条件で打ち上げ実験を行いました．このような過去の事例を参考にすることで，事前にその危険性を察知することができます．

筆者らはこのような事例を作成，記録するために，打ち上げ前の準備として以下の作業を実施しました．

- 打ち上げスケジュールに沿った打ち上げ実施
- 担当者分けの徹底（全体指揮者の擁立）
- 各種パラメータの計測（後述のロスト対策につながる）

これらの作業を打ち上げごとに計画し，打ち上げの記録を蓄積しました．また，ビデオ・カメラなどの記録を利用した反省会を実施することで，より安全な打ち上げ計画を作成できるようになりました．

3）地上でできるテストを確実に実施する

模型ロケットの新機体の初飛行時にはいつも緊張します．なぜなら，どのようなロケットに仕上がっているかは，実際に打ち上げてみないと分からないためです．

そこで，打ち上げる前の準備として，地上での確認作業も重要なポイントです．見た目からでも，ウイングの取り付け角度や接合部などの破損部分などは確認できます．

ロケットの重心と整流性能を確かめるためには，ひもを胴体に付けてロケットを回転させ，飛行時のぶれがあるかどうかを判断する「スイング・テスト」という方法があります（**写真3**）．そのほか，パラシュートが確実に開くように，マヨネーズの空きボトルを利用した分離試験（エンジン挿入口から空気を噴射させる）を行って，ノーズコーンがスムーズに分離するか，パラシュートが開くかなどを事前に確認できます．簡単なことですが，地上で確認できることは徹底して確認しました．

4）試射していないものを本番で使わない

全く試射していない，実績がないものを本番で使うな，という指示を出しました．ここで言う本番とは，Hamana-3の成果報告の場である，「第8回 組込みシステム技術に関するサマーワークショップ（SWEST8）」における打ち上げのことを指しま

す．SWEST8における打ち上げ実験に使用した模型ロケットは，今までに20回以上の打ち上げに成功している機体です．一般公開される中で打ち上げを成功させることは，今までの成果を披露するために必須であると考えています．本番は，今まで試射してきた場所とは異なる，初めて経験する場所での打ち上げになるので，自分たちの作ったロケットを信じるしかないわけです．

信頼のおけるロケットというのは，実績があるロケットと言い換えることができます．これは産業ロケットにも当てはまります．実績がないロケットでは当然ながら高価な衛星は打ち上げることはできません．事前のチェックを厳重に行い，打ち上げを実施し，安全に打ち上げられることを確認して，信頼性を高めていくものだと思います．

● 安全を確保できたか？

結果から言えば，Hamana-2，Hamana-3という過去2年間の打ち上げにおいて，重大な人身事故は起こりませんでした．模型ロケットのロスト（遺失）は，Hamana-2のときに2件発生しています．しかし，Hamana-2で得た経験が生かされたためか，Hamana-3ではロストはありませんでした．

模型ロケット自体が安全に設計されているので，基本的には模型ロケット安全コードを順守すれば，安全な打ち上げが可能だと思います．さらに，過去の経験を生かすことで小さなミスを減らすことができ，小さなミスをなくすことで重大な事故の発生をより確実に抑止できるのではないでしょうか．筆者はHamana-3に参加して，「安全に実施するには，当然と思っていることを再度確認する慎重さや，過去の経験を現在にフィードバックしていくことが重要だ」と感じました．

当社の取り組みが十分であったかまだ評価できていませんが，企業として安全に実施するという要求に対しては満足できる対策ができたと思います．今後も同様の活動を進めていく上でも安全という言葉は常に近くにあると思います．ノウハウの蓄積や，明確なルール化などを今後も継続していく予定です．



写真3
スイング・テスト
ロケットの胴体にひもを付けて回転させ，飛行時のぶれを見ることにより，ロケットの重心と整流性能を確かめることができる．

参考・引用*文献

(1) Hamana-3プロジェクトについての説明，http://www.ertl.jp/SWEST/Surveyor/Hamana-3/
(2) 米国ロケット協会のWebサイト，http://nar.org/
(3) Model Rocket Safety Code，http://nar.org/NARmrsc.html
(4) 渡邉友裕，杉山 歩，沼田亜美，後藤孝一，京井真之；新人研修は「模型ロケット」<<新人技術者編>>，Design Wave Magazine，2006年6月号，pp.30-42，CQ出版社．
(5) 大西秀一，服部博行；新人研修は「模型ロケット」<<指導者・管理者編>>，Design Wave Magazine，2006年6月号，pp.43-49，CQ出版社．

おおにし・しゅういち
(株)ヴィッツ

<筆者プロフィール>
大西秀一．教育大学卒業後，組み込みソフトウェアの会社に入社した変わり者．入社後マイコンの存在を知り，任天堂ゲームボーイアドバンスの自作プログラミングで，マイコンの機能に関する勉強やC言語を使ったプログラム，RTOSの移植などを経験．その後，情報家電や自動車制御部品関連のミドルウェアなどの開発を経験し現在に至る．現在は会社内の研究や新人研修の実績を外部に発表するかたわら，これらの研究成果の有効活用方法を模索中．

Appendix 1